Consultative Document / Document de consultation

Atomic Energy Control Board / Commission de contrôle de l'énergie atomique

CONSULTATIVE DOCUMENT C-72

Proposed Regulatory Guide

CRITERIA FOR CONCEPT ASSESSMENT: GEOLOGICAL CONSIDERATIONS IN SITING A REPOSITORY FOR UNDERGROUND DISPOSAL OF HIGH-LEVEL RADIOACTIVE WASTE

Issued for comment:

January 24, 1984

Canada

This Consultative Document is issued in order to provide an opportunity for public review of the proposal it contains before formal issue as a Regulatory Document. Comments are encouraged and should be directed to the address below before APRIL 24, 1984.

Unless otherwise requested by the submittor, a copy of all comments received will be placed in the AECB public documents room.

Direct comments to:

Health Effects and Regulatory Documents Section
Atomic Energy Control Board
P.O. Box 1046
Ottawa, Ontario
CANADA
K1P 5S9

THE AECB REGULATORY DOCUMENTS SYSTEM

1. Siting, design, manufacture, construction, commissioning, operation, and decommissioning of nuclear facilities, or the production, possession, use and disposal of prescribed substances, in Canada or under Canadian control, are subject to the provisions of the Atomic Energy Control Act and Regulations administered by the Atomic Energy Control Board (AECB).

2. In addition to the Atomic Energy Control Regulations, three other categories of Regulatory Document are employed by the AECB. These are:

   Generic Licence Conditions - standard sets of conditions that are included in particular AECB licences of a common type, unless specific circumstances indicate otherwise;

   Regulatory Policy Statements - firm expressions that particular "requirements" not expressed as Regulations or Licence Conditions be complied with or that any requirements be met in a particular manner but where the AECB retains the discretion to allow deviations or to consider alternative means of attaining the same objectives where a satisfactory case is made; and

   Regulatory Guides - guidance or advice on any aspect of the AECB's regulatory process that is given in a manner less rigid than that intended by Policy Statements.

3. In developing Regulatory Documents, the AECB publishes its proposals as Consultative Documents in order to solicit comments both from the nuclear industry and from the public. This is done prior to releasing any Regulatory Document in final form. In certain cases, after the period for public comment, a Consultative Document may be issued for "trial use". This is done for a limited period of time to gain practical experience. Following the period of trial use, the revised document is re-issued for further public comment prior to release in final form.

4. Comments on Consultative Documents and suggestions for new Regulatory Documents and for improvement to those that exist are encouraged and should be directed to the Health Effects and Regulatory Documents Section of the AECB.

5. Copies of Consultative Documents, Regulatory Documents and related index lists are available in both English and French on request from the Office of Public Information. Requests for technical information on and interpretation of documents should be addressed to this office.

6. The Atomic Energy Control Board may be contacted as follows:

Postal address: Atomic Energy Control Board
P.O. Box 1046
Ottawa, Ontario
CANADA
K1P 5S9

Telephone
General Inquiries: (613) 995-5894

CRITERIA FOR CONCEPT ASSESSMENT: GEOLOGICAL CONSIDERATIONS IN SITING A REPOSITORY FOR UNDERGROUND DISPOSAL OF HIGH-LEVEL RADIOACTIVE WASTE

ABSTRACT

High-level radioactive waste in the form of irradiated, spent fuel from nuclear reactors is now being held in safe, temporary storage at reactor sites. Atomic Energy of Canada Limited (AECL) is developing a concept for permanent disposal of this waste. The concept involves the physical and chemical stabilization of the waste in a suitable packaging arrangement and its subsequent emplacement in a repository deep within a body of plutonic rock.

The Atomic Energy Control Board (AECB) is responsible for regulating the development, application and use of atomic energy in Canada and must ensure that any proposed disposal scheme meets health, safety and environmental objectives. The AECB is developing a series of Consultative Documents which outline the policy it will follow and the criteria it will use to ensure these objectives are met. This document is one in that series.

In addition to meeting certain requirements pertaining to radiation doses received by workers and the public, a repository facility must be capable of accommodating any natural disturbances likely to occur in its vicinity, and the disposal system must not depend on maintenance by future generations for its successful operation.

Although the proposed disposal concept being developed will incorporate both natural and engineered barriers, the AECB particularly recognizes the significance of the long-term effectiveness of the natural barriers. Therefore, one important requirement any repository site must meet is that its geological characteristics be acceptable.

This paper presents the five criteria by which geological acceptability will be judged and which must, therefore, be considered in the development of a disposal concept:

(1) the host rock should have properties that inhibit the release and retard the movement of radionuclides;

(2) the minerals and other constituents of the host rock should not be commercially attractive;

(3) the region in which a repository is sited should be geologically stable;

(4) the host rock should be capable of withstanding the additional stresses resulting from the repository; and

(5) the host rock should have sufficient volume that the repository can be easily accommodated within its boundaries.

CRITERIA FOR CONCEPT ASSESSMENT: GEOLOGICAL CONSIDERATIONS IN SITING A REPOSITORY FOR UNDERGROUND DISPOSAL OF HIGH-LEVEL RADIOACTIVE WASTE

A. DISPOSAL OF HIGH-LEVEL RADIOACTIVE WASTE

1. Introduction

At the present time in Canada, high-level radioactive waste is accumulating in the form of irradiated, spent fuel from research reactors and nuclear power generating stations. The spent fuel bundles are kept in water-filled bays at each of the reactor sites. Because water is both a radiation barrier and an effective coolant, this system provides a safe means of storage. Current research is investigating the possibility that spent fuel might also be safely stored above ground, in cylindrical concrete structures.

Both of these methods require maintenance in order to ensure their continued safety and can only be seriously considered as temporary management measures. Clearly, some means of permanently disposing of these wastes will be required.

The Atomic Energy Control Board (AECB) is the federal agency responsible for the comprehensive regulation of the development, application and use of atomic energy. As such, the AECB must be satisfied that any proposed disposal system will effectively isolate the radioactive waste and will result in no unacceptable risk to humans and to the natural environment, either at the present time or in the future.

At the present time, Atomic Energy of Canada Ltd. (AECL) is conducting a research program to obtain scientific information for the evaluation of a disposal concept based on the emplacement of radioactive waste in rock, deep below the surface of the earth. In August 1981, the governments of Ontario and Canada announced details of a process called "Concept Assessment" by which the acceptability of the concept would be examined. The announcement also stated that the process is expected to be completed by 1990 and that no disposal site selection would take place until after the concept had been accepted.

The information in this document is specifically related to the site selection phase. It is being published now to help identify the geological properties that need to be addressed in the Concept Assessment Process and to ensure that actual variations in suitable Canadian geological settings are properly documented and evaluated.

This document addresses the geological considerations of permanent disposal, given that

(a) In order to protect the environment and both present and future generations, any proposed disposal scheme must meet certain health, safety and environmental objectives.

(b) Atomic Energy of Canada Limited (AECL) is developing a disposal concept that integrates both engineered and natural components. In essence, the plan involves physical and chemical stabilization of the waste in a suitable packaging arrangement and its subsequent emplacement in a repository deep within a body of rock that is situated in a geologically stable region.

(c) An underground repository can be expected to function properly and meet established objectives, provided that careful consideration is given to meeting certain geological criteria when the site is selected.

2. Fundamental Objectives and Requirements

A general objective of all waste management programs, including programs which deal with radioactive waste, is to protect man and the natural environment from dangerous or polluting substances. Although the complete isolation of a particularly hazardous material might be desirable, the dynamic character of all natural systems is such that the eventual return to the environment of components of the waste cannot be ruled out. It is more realistic, therefore, to speak in terms of a rate of return and to take the necessary measures beforehand to ensure that any reintroduction will occur in quantities that can be safely tolerated by humans and the environment.

The migration and return of the undesirable material are influenced by natural processes which tend to absorb, retard, divert, disperse or dilute the waste. In the case of radioactive waste, there exists an additional factor of great importance. Radioactive substances decay at rates characteristic of their constituent radionuclides and thus become less radioactive and correspondingly less hazardous with time.

Besides the return of waste to the surface environment as a result of natural processes, there is a finite chance that radioactive material might be reintroduced in harmful quantities as a result of inadvertent or deliberate human action.

Therefore, a successful disposal system for radioactive waste will incorporate components, both man-made and natural, which tend to

(a) retain radioactive substances or, if any are released, retard their movement, thus prolonging the time during which radioactive decay can take place;

(b) promote the dispersion in time and in space of any radioactive substances that escape from the repository so that they return to the environment in dilute concentrations; and

(c) protect the waste from inadvertent or deliberate human contact.

Furthermore, in the development of any radioactive waste disposal concept, the following fundamental requirements must be considered:

(a) The disposal system and its components must be capable of accommodating disturbances due to any natural phenomena likely to occur in the vicinity of the repository, such that any increase in risk to the public as a result of these disturbances would be insignificant; and

(b) The disposal must be passive; that is, it must be designed so that there is no obligation imposed on future generations to oversee the continued safe isolation of the waste.

3. Canadian Disposal Concept

In Canada and other countries where high-level radioactive waste is accumulating, current research is directed at investigating and evaluating the possibility that safe disposal can be achieved by burial of the waste deep underground in a body of rock that is situated in a stable geologic setting.

The disposal scheme now being developed by AECL will incorporate both natural and engineered components into a system of multiple barriers. The repository host rock, the surrounding rocks, and the physical and chemical processes which take place within these bodies of rock constitute the natural barriers separating the waste from the biosphere. The isolation provided by the depth of burial will be effective in preventing human intrusion, except by a determined undertaking, and will significantly reduce the probability that the waste will be exposed by erosion or other natural processes. Consequently, of the natural processes, groundwater flow emerges as the most credible mechanism by which radioactive material that might be released from the repository could be transported back to the surface.

The performance of these natural barriers will depend on the geological properties of the host rock and the surrounding rocks. Favourable properties, especially geochemical and hydrogeological, will be foremost in the selection of a repository site.

The engineered barriers which AECL plans to include in its disposal system can be briefly described as follows:

(a) The waste form itself may be considered the first engineered barrier, because the radionuclides are locked into a chemically stable matrix. The fuel pellets are ceramic and virtually insoluble in normal aqueous solutions. In the spent fuel bundles, these pellets remain packed within the original Zircaloy tubes, which are themselves chemically resistant. If the decision is made to reprocess the fuel in order to recover useful constituents, then the reprocessing wastes will be incorporated into some medium such as glass, which has a high resistance to dissolution.

Radioactive waste can contaminate the groundwater only if these chemically resistant materials dissolve or if radionuclides are able to diffuse out of the solid matrix. Both of these processes are expected to progress at an exceedingly slow rate if components are effectively designed.

(b) The spent fuel or reprocessing waste will be encapsulated in metal canisters made of a resistant alloy. It is expected that unless catastrophic events significantly alter the original conditions, several hundred years will elapse before any canister is breached by corrosion, and before the insoluble waste form is exposed to groundwater.

(c) The canister will be emplaced within a prepared cavity in the rock of the repository and will be surrounded by a buffer made of natural clays or other compounds. These materials will restrict the movement of groundwater in the vicinity of the canisters and will be capable of absorbing or retarding any radionuclides that may be released from the waste.

(d) The layout and configuration of the repository itself will contribute to a successful disposal system. For example, sufficient spacing between canisters will allow the heat generated by the waste to be dissipated effectively, thereby minimizing detrimental effects on either the rock properties or the waste-packaging system.

(e) The repository and access shafts will be backfilled with clays or other materials that will behave as sealants, in order to reduce the rates of groundwater infiltration and radionuclide migration.

B. CHARACTERISTICS OF A GEOLOGICALLY ACCEPTABLE SITE

1. Geological Acceptability

The AECB will establish certain requirements that any proposed site for a repository must meet. One of the most important of these is the requirement that the site be geologically acceptable. This is based upon the recognition that favourable geological characteristics are necessary to ensure that the combination of engineered and natural barriers will endure as long as the waste remains a radiation hazard.

2. Geological Criteria

The properties of the natural barriers will be unique to the site chosen. In addition, it is very difficult to quantify the anticipated performance of the natural barriers. Great care must therefore be taken to assess properly the geological properties of the host rock, and the region in which it is located.

Careful consideration must be given to the possibility that geological processes and events, which might compromise the performance of either the natural or engineered barriers, could occur within the lifetime of the radioactive waste. All of these analyses should include an ample allowance for the underlying uncertainty associated with any assessment of a natural system.

The five geological criteria which follow have been formulated with due recognition of the foregoing. In each case, a brief summary of the rationale is presented for the purpose of explaining the intent and scope of the stated criterion.

The host rock and surrounding rocks should have properties such that their combined effect is to inhibit the release and retard the movement of radioactive material

Aside from deliberate or accidental human intrusion into the repository, groundwater movement would be the principal mechanism by which radioactive material could be transported to the surface environment in geologically stable areas. The groundwater transport of radionuclides will be limited by some combination of the following circumstances:

(a) low groundwater flow

This situation may arise if the input to the groundwater system is negligible. Low regional hydraulic gradients will have a similar effect. A sound host rock, with no extensive system of interconnecting pores, fissures or other passageways will also restrict groundwater flow.

(b) favourable groundwater chemistry

Radionuclides can enter the groundwater system only as a result of corrosion or mechanical fracture of the metal canister and subsequent diffusion or leaching of radioactive material from the waste medium. Favourable groundwater chemistry coupled with proper design of these engineered components will retard this process.

(c) retardation or retention of migrating radionuclides

The mobility of radionuclides migrating with the groundwater flow may be limited by processes in which the dissolved waste is either sorbed by minerals that occur along fissures in the rock and in the buffer material surrounding the canister, or precipitated as insoluble compounds through chemical reactions.

A host rock, together with surrounding rocks, should have properties that promote the physical and chemical processes described above. In this way, any radioactive waste released will be dispersed in time and in space so that it re-enters the environment in dilute concentrations after considerable radioactive decay has occurred.

There should be little likelihood that the host rock will be exploited as a natural resource

If it is suspected that the host rock contains a commercially valuable commodity such as gold, oil, or potash, it is almost certain that the rock's potential as a resource will eventually be evaluated.

Exploratory drill holes which penetrate the host rock could impair its effectiveness as a natural barrier to the release of radioactive material. It is also conceivable that the repository itself could be breached. Efforts to exploit any resource present would only compound the damage. It is therefore important to avoid areas with a history of natural resource production, such as old mining districts. These areas are subject to recurring exploration and evaluation.

As broad a perspective as possible should be brought to bear on this question. Technologies do change and with them, the value of commodities. However, commercial interest is not likely to be focused on the host rock itself if it is composed of common minerals and if it is a type of rock that is not only abundant in the area of the repository site but also widely distributed throughout Canada.

The repository site should be located in a region that is geologically stable and likely to remain stable

All parts of the earth's crust are undergoing geologic changes of one kind or another, but there are wide variations in the degree of instability. Where significant crustal instability does exist, it may be manifested in ways that would seriously reduce the effectiveness of a repository. It is important that a repository not be located in such a region. The discussion which follows will illustrate the kinds of crustal instability that may lead to situations that could compromise the integrity of a repository.

Large-scale crustal forces may result in three broadly defined effects which are not mutually exclusive:

(a) Rocks may crack and break, and a fault will develop if there is movement along a break with resulting dislocation of one body of rock with respect to an adjacent one.

(b) Broad regions may experience gentle upward or downward movement (regional uplift or subsidence).

(c) Steep thermal gradients with associated high heat flows may develop, and in extreme cases, volcanic activity may ensue.

Although active faulting in the region of the repository might have several undesirable consequences, perhaps the most important of these is the possibility of creating new fractures or altering existing ones. The groundwater flow pattern could change in an unpredictable manner and access of radioactive waste to groundwater might increase. If freer circulation resulted, the movement of radionuclides back to the environment could be facilitated.

Regional uplift would result in accelerated erosion due, at least in part, to an increase in the gradient of streams. The ground surface could erode downward towards the repository, reducing its isolation from the environment. The repository itself might be breached, perhaps before the radioactive material has ceased to pose a radiation hazard.

High heat flows sometimes result in hot springs and geysers. The hot, circulating groundwater could speed the dissolution and transport to the surface of radioactive materials.

Although extensive areas of the earth's crust do exhibit significant crustal instability of the nature described above and should be rejected

as possible locations for a repository site, there are other, correspondingly large areas which are relatively dormant. For example, it appears that some of the most geologically stable regions on earth are found on the Canadian Shield, which underlies much of the central part of this country.

Both the host rock and surrounding rocks should be capable of withstanding stresses without significant structural deformation

There are natural stresses in all rocks due, in part, to the weight of overlying materials and to large-scale crustal processes. Besides these natural stresses, the host rock will be subjected to additional stresses, which result from the excavation of the repository and from the heat and ionizing radiation of the radioactive waste. This combination of natural and induced stresses may adversely affect the structural stability of the host rock and surrounding rocks.

Rocks may be broadly divided into two categories depending upon their reaction to applied stress. There are advantages and disadvantages to each:

(a) Ductile rocks flow under stress, and, as a consequence, cracks and fissures tend to close. This is a distinct advantage for a repository host because it will retard groundwater flow.

However, if not suitably confined, a ductile rock may be squeezed out from under overlying rocks. A repository located in a rock subjected to this kind of movement might be impaired, and the radioactive waste might be transported towards the surface and reintroduced to the environment in harmful concentrations.

(b) Unlike ductile rocks, brittle rocks resist deformation under stress until fracturing suddenly occurs. They possess considerable strength and hardness, and they sometimes form rock bodies of massive proportions. This kind of rock will not be squeezed out from under overlying rocks.

However, brittle rocks are subject to faulting, with associated fractures and fissures. This can be a disadvantage because of the possibility that new or existing fractures may serve as pathways for groundwater circulation.

No single body of rock is likely to have only desirable features. However, with proper consideration of the above, an effort should be made to achieve as satisfactory a combination of host rock properties as is possible.

The dimensions of the host rock should be such that the repository can be deep underground and well removed from rock boundaries

Placing the repository deep underground is an effective means of isolating and protecting the radioactive waste and the engineered components of the disposal system. It also ensures the preservation of natural barriers

between the waste and the environment. Specifically, an adequate depth of burial is necessary in order to

(a) restrict human access to, and contact with, the radioactive waste;

(b) isolate the repository from the effects of such human activities as explosions, excavations, and large construction projects; and

(c) reduce the effects of certain surficial processes such as intense erosion by wind, water, and glaciation, and natural events such as meteorite impact.

It is also important to keep the repository away from the host rock boundaries. There are several reasons for this, among them, the following:

(a) Rock boundaries are potential zones of weakness. The various stresses induced in the host rock as a result of the presence of the repository do diminish with distance. However, if a rock boundary lies within the volume influenced by the repository such that the increase in stress is enough to overcome the natural resistance along the boundary, a rock failure may result and, in turn, could damage the effectiveness of the repository.

(b) Substantial movement of groundwater may take place along rock boundaries and similar discontinuities. A boundary may extend to the surface. Under these circumstances, the shortest distance between the repository and the boundary may become, in effect, the pathway which is of critical interest, especially if groundwater flow along the boundary could possibly transport any escaping radionuclides back to the environment in unacceptable concentrations.

(c) Commercially valuable minerals, petroleum resources and other commodities are sometimes found along or near rock boundaries.

Consultative Document / Document de consultation

Atomic Energy Control Board / Commission de contrôle de l'énergie atomique

DOCUMENT DE CONSULTATION C-72

Projet de guide de réglementation

CRITÈRES POUR L'ÉVALUATION DE CONCEPT: CONSIDÉRATIONS D'ORDRE GÉOLOGIQUE DANS LE CHOIX DU SITE D'UN DÉPÔT SOUTERRAIN DE DÉCHETS HAUTEMENT RADIOACTIFS

Publié pour commentaires,

le 24 janvier 1984

Canada

Ce document de consultation est publié dans le but de fournir au public l'occasion d'examiner le projet de réglementation avant qu'il soit adopté dans sa forme définitive. Vous êtes invités à faire parvenir vos commentaires à l'adresse ci-dessous avant le 24 AVRIL 1984.

Sauf avis contraire de la part de l'envoyeur, une copie de tous les commentaires reçus sera placée dans la salle des documents officiels aux bureaux de la CCEA.

Prière d'adresser vos commentaires à:

Section, Effets sur la santé et documents
de réglementation
Commission de contrôle de l'énergie atomique
C.P. 1046
Ottawa (Ontario)
CANADA
K1P 5S9

TEXTES DE RÉGLEMENTATION DE LA CCEA

1. Le choix d'emplacement, la conception, la fabrication, la construction, la mise en service, l'exploitation et le déclassement d'installations nucléaires ou la production, la possession, l'utilisation et l'élimination de substances prescrites, au Canada ou sous contrôle canadien, sont assujettis aux dispositions de la Loi sur le contrôle de l'énergie atomique et de son Règlement d'application, dont l'administration relève de la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA).

2. En plus du Règlement susmentionné, la CCEA utilise trois catégories de textes de réglementation. En voici une courte description.

   Conditions générales d'autorisation de permis - ensemble de conditions types figurant dans tous les permis similaires délivrés par la CCEA, à moins de circonstances exceptionnelles;

   Déclarations de principe en matière de réglementation - déclarations laissant clairement entendre que certaines "exigences" qui ne figurent ni dans le Règlement ni dans les conditions des permis sont obligatoires ou que certaines exigences doivent être respectées d'une façon déterminée laissant également entendre que la CCEA se réserve le droit de permettre des écarts ou d'envisager d'autres façons d'en arriver aux mêmes fins, lorsque ces façons semblent convenir; et

   Guides de réglementation - directives ou conseils donnés sur tout aspect de la réglementation assurée par la CCEA mais formulés de façon moins rigoureuse que dans les déclarations de principe.

3. Lors de l'élaboration de ses textes de réglementation, la CCEA en publie d'abord le projet à titre de Document de consultation, afin de connaître les commentaires du secteur nucléaire et du grand public, avant que le projet de texte de réglementation paraisse sous sa forme définitive. Dans certains cas, après l'achèvement de la période réservée aux commentaires, la Commission peut faire mettre le document de consultation à l'essai pratique pour un temps limité. Après cette période d'essai, on demande encore une fois l'opinion du public, avant que le document révisé soit publié sous sa forme définitive.

4. Tout commentaire sur les documents de consultation et toute suggestion à l'égard des nouveaux textes de réglementation ou ceux déjà en vigueur sont les bienvenus; il suffit de les transmettre à la section des Effets sur la santé et documents de réglementation de la CCEA.

5. On peut se procurer des exemplaires des documents de consultation et des textes de réglementation, dans les deux langues officielles, en s'adressant au Bureau d'information publique. Toute demande de renseignements techniques ou d'interprétation des textes devrait être acheminée au Bureau susmentionné.

6. L'adresse de la CCEA est la suivante:

   Commission de contrôle de l'énergie atomique
   C.P. 1046
   Succursale "B"
   OTTAWA (Ontario)
   CANADA K1P 5S9

   Renseignements: (613) 995-5894

CRITÈRES POUR L'ÉVALUATION DE CONCEPT: CONSIDÉRATIONS D'ORDRE GÉOLOGIQUE DANS LE CHOIX DU SITE D'UN DÉPÔT SOUTERRAIN DE DÉCHETS HAUTEMENT RADIOACTIFS

RÉSUMÉ

Pour le moment, les déchets de haute activité sous forme de combustible épuisé, irradié par les réacteurs nucléaires sont entreposés temporairement de façon sûre à l'emplacement même des centrales. L'Énergie atomique du Canada, Limitée (L'EACL) est en train de mettre au point un programme d'évacuation permanente de ces déchets, comprenant leur stabilisation physique et chimique en des emballages appropriés, et leur enfouissement en profondeur dans un dépôt à l'intérieur d'une masse de roches plutoniques.

En tant qu'organisme responsable de réglementer le développement, les applications et l'emploi de l'énergie nucléaire au Canada, la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) doit s'assurer que tout projet d'évacuation des déchets satisfait à certains objectifs qui touchent à la santé la sûreté et l'environnement. La CCEA est en train de préparer une série de documents de consultation qui définira la politique générale qu'elle compte suivre, de même que les critères dont elle se servira pour s'assurer que tous les objectifs sont atteints. Le présent document fait partie de la série.

Tout en devant satisfaire à certaines exigences relatives aux doses de rayonnement que les travailleurs sous rayonnements et le grand public peuvent recevoir, un dépôt doit également être en mesure de faire face à toute perturbation naturelle susceptible de se produire aux alentours du dépôt et le programme d'évacuation ne doit pas dépendre des soins des générations futures pour bien remplir ses fins.

Bien que le nouveau programme d'évacuation en cours d'élaboration comprenne à la fois des barrières naturelles et artificielles, la CCEA reconnaît particulièrement l'importance de l'efficacité à long terme des barrières naturelles. Il faut donc, notamment, que les caractéristiques géologiques du site soient acceptables pour que le dépôt remplisse bien son rôle.

Le présent document définit les cinq critères d'acceptabilité du point de vue géologique dont il faudra tenir compte, par conséquent, au cours de l'élaboration du programme d'évacuation:

(1) la roche encaissante devrait avoir certaines propriétés capables de restreindre le dégagement des radionucléides et d'en retarder le mouvement;

(2) les minéraux et d'autres composants de la roche encaissante ne devraient présenter aucun attrait commercial;

(3) la région où se situe un dépôt devrait être stable, géologiquement parlant;

(4) la roche encaissante devrait être capable de soutenir les tensions supplémentaires dues à l'existence du dépôt; et

(5) la roche encaissante devrait avoir un volume suffisant pour contenir facilement le dépôt à l'intérieur de ses limites.

CRITÈRES POUR L'ÉVALUATION DE CONCEPT: CONSIDÉRATIONS D'ORDRE GÉOLOGIQUE DANS LE CHOIX DU SITE D'UN DÉPÔT SOUTERRAIN DE DÉCHETS HAUTEMENT RADIOACTIFS

A. ÉVACUATION DES DÉCHETS HAUTEMENT RADIOACTIFS

1. Introduction

À l'heure actuelle, au Canada, les déchets de haute activité s'accumulent sous forme de combustible irradié provenant des réacteurs de recherche et des centrales nucléaires. Les grappes de combustible irradié sont entreposées dans des bassins d'eau situés sur l'emplacement même de chacun des réacteurs. Étant donné que l'eau fait obstacle aux rayonnements et représente un refroidisseur efficace, ce système offre un moyen sûr de stockage. Les recherches actuelles portent sur la possibilité de stocker aussi en toute sûreté le combustible irradié à la surface du sol dans des structures cylindriques de béton.

Ces deux méthodes nécessitent une maintenance pour en garantir la sûreté de façon continue et ne peuvent être envisagées sérieusement qu'à titre de mesures de gestion provisoire. En fait, il faudra en venir à utiliser des méthodes d'évacuation permanente pour ces déchets.

La Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) est l'organisme fédéral responsable de la réglementation globale du développement, des applications et de l'utilisation de l'énergie nucléaire. Comme telle, la CCEA doit être convaincue que tout projet de programme d'évacuation isolera de façon efficace les déchets radioactifs et n'entraînera pas de risques inacceptables pour l'homme et pour le milieu naturel, maintenant et plus tard.

À l'heure actuelle, L'Énergie atomique du Canada, Limitée poursuit un programme de recherche en vue d'obtenir des données scientifiques pour l'évaluation du programme d'évacuation, d'après l'emplacement des déchets radioactifs enfouis profondément dans la roche. En août 1981, le gouvernement du Canada et celui de l'Ontario ont rendu publics les détails d'un processus nommé "Évaluation de concept" pour vérifier si le concept était acceptable ou non. L'annonce faisait état également du fait que l'on comptait compléter le processus d'ici 1990 et qu'aucun site ne serait choisi aussi longtemps que le concept ne serait pas accepté.

Les renseignements contenus dans le présent document sont reliés tout spécialement à la phase du choix du site et sont publiés dès maintenant afin d'aider à déterminer les propriétés géologiques dont il faut tenir compte dans le Processus d'évaluation de concept et afin de s'assurer que les variables réelles dans les formations géologiques canadiennes acceptables sont bien documentées et évaluées.

Le présent document traite des facteurs géologiques à considérer en matière d'évacuation, soit

a) Afin de protéger l'environnement et les générations tant actuelles que futures, tout projet de programme d'évacuation doit

satisfaire à certains objectifs qui concernent la santé, la sûreté et l'environnement.

b) L'Énergie atomique du Canada, Limitée (L'EACL) est en train de mettre au point un programme d'évacuation des déchets qui intègre à la fois des éléments artificiels et naturels. Ce projet consiste essentiellement à assurer la stabilisation physique et chimique des déchets dans des emballages appropriés et leur enfouissement en profondeur dans un dépôt situé à l'intérieur d'une masse rocheuse d'une région géologique stable.

c) On peut s'attendre qu'un dépôt souterrain soit efficace et qu'il satisfasse aux objectifs établis, pourvu que l'on tienne soigneusement compte de certains critères géologiques au moment du choix du site.

2. Objectifs et exigences de base

Un des objectifs généraux de tous les programmes de gestion des déchets, y compris les programmes qui portent sur les déchets radioactifs, consiste à protéger l'homme et le milieu naturel des substances dangereuses ou polluantes. Bien que l'isolement complet d'une matière particulièrement dangereuse soit souhaitable, l'état dynamique de tous les systèmes naturels est tel qu'on ne peut exclure complètement l'éventualité d'une réapparition de composants des déchets dans l'environnement. Il est donc plus réaliste d'envisager la question en fonction du rythme de réapparition et de prendre, au préalable, les mesures nécessaires pour s'assurer que toute réapparition des radionucléides ne se produise pas en quantités inadmissibles, du point de vue de la sécurité de l'homme et de l'environnement.

La migration et la réapparition des déchets sont influencées par des processus naturels qui tendent à les absorber, à les retarder, à les détourner, à les disperser ou à les diluer. Dans le cas des déchets radioactifs, il existe un facteur supplémentaire très important. Les substances radioactives décroissent à des taux caractéristiques de leurs radionucléides propres et deviennent donc de moins en moins radioactives, et proportionnellement moins dangereuses avec le temps.

Outre la réapparition des déchets à la surface de la terre par suite des processus naturels, il existe des possibilités réelles que les matières radioactives soient réintroduites en quantités dangereuses à la suite d'actions involontaires ou délibérées de l'homme.

Un programme efficace d'évacuation de déchets radioactifs doit donc comprendre des éléments artificiels et naturels qui soient en mesure de

a) retenir les substances radioactives ou, en cas de dégagement, en retarder le mouvement, prolongeant ainsi la période pendant laquelle la décroissance radioactive peut avoir lieu;

b) favoriser la dispersion dans le temps et dans l'espace de toute matière radioactive s'échappant du dépôt de façon qu'elle réapparaisse dans l'environnement en faibles concentrations; et

c) prévenir tout contact involontaire ou délibéré de l'homme avec les déchets.

D'autre part, au cours de la mise au point de tout programme d'évacuation de déchets radioactifs, il faut également considérer les exigences fondamentales suivantes:

a) le programme d'évacuation et ses composants doivent être en mesure de faire face aux effets dus à toute perturbation naturelle susceptible de se produire aux alentours du dépôt, de façon que toute augmentation de risque pour le public à la suite de ces effets soit insignifiante; et

b) l'évacuation doit demeurer inactive, c'est-à-dire qu'elle doit être conçue de telle façon que les générations futures ne devraient sentir aucune obligation de surveiller l'isolement sûr et continu des déchets.

3. Programme canadien d'évacuation

Au Canada et dans d'autres pays où les déchets de haute activité s'accumulent, les recherches en cours visent à étudier et à évaluer la possibilité d'une évacuation sûre par enfouissement des déchets en profondeur dans une masse géologique rocheuse stable.

Le projet d'évacuation mis au point actuellement par L'EACL intégrera des éléments naturels et artificiels dans un ensemble de barrières multiples. La roche encaissant le dépôt, les roches avoisinantes, ainsi que les processus physiques et chimiques qui interviennent dans ces masses rocheuses, forment les barrières naturelles qui séparent les déchets de la biosphère. L'isolation que cette méthode d'enfouissement en profondeur procure, empêchera efficacement toute intrusion de l'homme à moins d'intervention délibérée, et réduira de façon significative la probabilité que ces déchets soient soumis à l'érosion ou à d'autres processus naturels. Il appert donc que, de tous les processus naturels, le réseau d'eaux souterraines représente la voie la plus plausible par laquelle des matières radioactives pourraient s'échapper du dépôt jusqu'à la surface.

Le comportement de ces barrières naturelles dépendra des propriétés géologiques de la roche encaissante et des roches avoisinantes. Des propriétés favorables, spécialement du point de vue géochimique et hydrogéologique seront déterminantes dans le choix du site prévu pour le dépôt.

Les barrières artificielles que L'EACL prévoit d'inclure dans son programme d'évacuation se résument comme suit:

a) la forme des déchets peut constituer en elle-même la première barrière artificielle, parce que les radionucléides sont confinés dans une matrice chimiquement stable. Les pastilles de combustible sont en céramique et pratiquement insolubles dans des solutions aqueuses normales. Dans les grappes de combustible épuisé, ces pastilles se trouvent à l'intérieur des tubes originaux en zircaloy qui offrent eux-mêmes une résistance du point de vue chimique. Si

l'on prend la décision de retraiter le combustible afin d'en récupérer les éléments utiles, les déchets de retraitement seront alors intégrés dans un milieu comme le verre, qui offre une résistance élevée à la dissolubilité.

Les déchets radioactifs peuvent contaminer les eaux souterraines seulement si ces matières chimiquement résistantes se dissolvent ou si les radionucléides sont capables de se diffuser hors de la matrice. On peut s'attendre que ces deux processus progressent à un rythme extrêmement lent si les composants sont conçus de façon efficace;

b) le combustible épuisé ou les déchets de retraitement seront placés dans des contenants métalliques en alliage résistant. À moins que des catastrophes n'en modifient les conditions originales de façon importante, on s'attend que plusieurs centaines d'années s'écouleront avant qu'un contenant quelconque soit troué par la corrosion, et que les déchets insolubles soient mis en contact avec les eaux souterraines;

c) le contenant sera placé dans une cavité préparée dans la roche du dépôt et sera entouré d'un tampon fait d'argiles naturelles ou d'autres composés, afin de limiter le mouvement des eaux souterraines autour des contenants et d'absorber ou de retarder le dégagement de tout radionucléide à partir des déchets;

d) l'aménagement et la configuration du dépôt lui-même contribueront à l'efficacité du programme d'évacuation; par exemple, un espacement suffisant entre les contenants permettra à la chaleur produite par les déchets de se dissiper efficacement, minimisant ainsi les effets néfastes sur les propriétés de la roche encaissante ou sur le mode d'emballage des déchets; et

e) le dépôt et les puits d'accès seront remblayés avec de l'argile ou d'autres matières qui serviront de produits d'étanchéité, afin de réduire le taux d'infiltration des eaux souterraines et de la migration des radionucléides.

B. CARACTÉRISTIQUES D'UN SITE ACCEPTABLE DU POINT DE VUE GÉOLOGIQUE

1. Statut acceptable du point de vue géologique

La CCEA établira certaines exigences auxquelles devra satisfaire tout site de dépôt proposé. L'une des exigences les plus importantes prescrira que le site soit acceptable du point de vue géologique, parce que l'on reconnaît que des caractéristiques géologiques favorables sont nécessaires pour assurer que l'ensemble des barrières artificielles et naturelles dureront aussi longtemps que les déchets continueront de présenter un risque de rayonnements.

2. Critères d'ordre géologique

Les propriétés des barrières naturelles seront particulières au site choisi. De plus, il est très difficile de quantifier le rendement

prévu des barrières naturelles. Il faut donc veiller à évaluer de façon convenable les propriétés géologiques de la roche encaissante et de la région où elle se trouve.

Il faut soigneusement envisager la possibilité que des processus et des événements géologiques interviennent au cours de la durée de vie des déchets radioactifs et compromettent l'efficacité des barrières naturelles ou artificielles. Toutes les analyses doivent tenir amplement compte de l'incertitude sous-jacente à n'importe quelle évaluation d'un ensemble naturel.

Les cinq critères d'ordre géologique qui suivent ont été formulés en fonction de ce qui précède. Dans chaque cas, une brève présentation résume le bien-fondé du critère en question pour en expliquer l'intention et la portée.

Les propriétés de la roche encaissante et des roches environnantes doivent être telles que leur effet combiné empêche le dégagement de matières radioactives et en retarde le mouvement

À part l'intrusion délibérée ou accidentelle de l'homme dans le dépôt, le mouvement des eaux souterraines apparaîtrait donc, dans les zones géologiques stables, comme la principale voie qui permettrait l'acheminement de matières radioactives jusqu'à l'environnement en surface. Le transport des radionucléides par les eaux souterraines sera limité si les circonstances suivantes sont plus ou moins combinées:

a) un faible débit des eaux souterraines:

cela peut arriver lorsque l'alimentation du réseau des eaux souterraines est négligeable. De faibles gradients hydrauliques locaux auront des effets semblables. Une roche encaissante saine, ne possédant aucun vaste réseau de pores, de fissures ou d'autres passages reliés les uns aux autres, limitera aussi l'écoulement des eaux souterraines;

b) des conditions chimiques favorables des eaux souterraines:

seule la corrosion ou une fissure mécanique du contenant métallique, suivie de la diffusion ou de la lixiviation ultérieure des matières radioactives contenues dans les déchets, peut provoquer la pénétration des radionucléides dans le réseau des eaux souterraines. Une composition chimique favorable des eaux souterraines associée à une bonne conception des éléments artificiels retardera ce processus;

c) le retardement ou la rétention des radionucléides en migration:

la mobilité des radionucléides en migration dans les eaux souterraines peut être limitée par des processus au cours desquels les déchets dissous sont soit absorbés ou adsorbés par les minéraux présents le long des fissures de la roche et dans les

matières tampons entourant le contenant, soit précipités en tant que composés insolubles à la suite de réactions chimiques.

Une roche encaissante, ainsi que les roches avoisinantes, doivent avoir des propriétés qui encouragent les processus physiques et chimiques susmentionnés. C'est ainsi que tous déchets radioactifs rejetés seront dispersés dans le temps et dans l'espace de façon à réapparaître dans l'environnement en concentrations diluées seulement après qu'une importante décroissance radioactive se sera produite.

La probabilité que la roche encaissante soit exploitée en tant que ressource naturelle doit être faible

Si l'on soupçonne qu'une roche encaissante contient des matières de valeur commerciale comme de l'or, du pétrole ou de la potasse, il est presque certain que le potentiel de la roche en tant que ressource sera évalué un jour ou l'autre.

Les trous de forage qui pénétreraient la roche encaissante pourraient nuire à son efficacité en tant que barrière naturelle au dégagement de matières radioactives. On peut aussi concevoir que l'intégrité du dépôt lui-même pourrait être brisée et que les efforts visant à exploiter n'importe laquelle des ressources présentes ne feraient qu'augmenter les dégâts. Il est important d'éviter les régions où sont traditionnellement exploitées les ressources naturelles, comme les anciens districts miniers, parce que ces régions sont sujettes à de nouveaux travaux d'exploration et d'évaluation.

Cette question devrait être abordée avec le plus de largeur de vues possible. Les techniques changent, de même que la valeur des produits de base. Toutefois, l'intérêt commercial ne portera pas vraisemblablement sur la roche encaissante elle-même, si elle est composée de minéraux communs, et s'il s'agit d'un type de roche qui est non seulement abondant dans la région du dépôt, mais aussi réparti à grande échelle aux quatre coins du pays.

Le dépôt doit être situé dans une région géologique stable et susceptible de demeurer stable

Toutes les parties de la croûte terrestre subissent toutes sortes de transformations géologiques, mais le degré d'instabilité varie beaucoup. Là où existe une importante instabilité de l'écorce, elle peut se manifester sous des formes qui réduiraient sérieusement l'efficacité d'un dépôt. Il est donc important qu'un dépôt ne soit pas aménagé dans une telle région. L'exposé qui suit illustrera les genres d'instabilité de la croûte terrestre pouvant aboutir à des situations qui compromettraient l'intégrité d'un dépôt.

Les forces à l'intérieur de la croûte peuvent provoquer trois genres d'effets qui ne s'excluent pas entre eux et qui peuvent se définir en gros comme suit:

a) les roches peuvent se fissurer ou se rompre, et une faille se formera si un mouvement se manifeste le long d'une rupture et disloque ensuite une masse rocheuse de la masse adjacente;

b) de vastes régions peuvent subir une légère surrection (soulèvement) ou subsidence (affaissement); et

c) de forts gradients thermiques et des flux thermiques élevés associés peuvent se développer et, à l'extrême, une activité volcanique pourrait s'ensuivre.

Bien qu'une formation active de failles dans la région du dépôt pourrait occasionner plusieurs conséquences indésirables, la plus importante de ces conséquences serait sans doute la possibilité que de nouvelles fissures se produisent ou que des anciennes soient modifiées. Le modèle de débit des eaux souterraines pourrait alors en être affecté, de manière imprévisible et les déchets radioactifs pourraient y avoir un accès beaucoup plus facile. Une circulation plus libre des eaux souterraines faciliterait en tout cas une réapparition des radionucléides dans l'environnement.

Une surrection régionale entraînerait une érosion accélérée due en partie au moins à une augmentation des gradients des cours d'eau. La surface du sol pourrait s'éroder vers l'intérieur en direction du dépôt et réduire par le fait même l'isolation du dépôt par rapport à l'environnement. Le dépôt comme tel pourrait également être fissuré, peut-être même avant que les matières radioactives aient cessé de présenter un risque de rayonnement.

Comme des flux thermiques élevés provoquent parfois l'apparition de sources chaudes et de geysers, les eaux souterraines chaudes en circulation pourraient accélérer la dissolution des matières radioactives et leur transport jusqu'à la surface.

Bien que de vastes zones de l'écorce terrestre accusent une instabilité importante de la nature décrite ci-dessus et qu'il faille donc écarter la possibilité d'y aménager des dépôts, il existe en revanche de vastes régions relativement calmes. Il semble notamment, que certaines parties du Bouclier canadien qui couvre pratiquement tout le centre du pays comptent parmi les régions géologiques les plus stables de la terre.

<u>La roche encaissante et les roches environnantes devraient être capables de résister à des contraintes sans que leur structure subisse des déformations importantes</u>

Toutes les roches subissent des contraintes naturelles attribuables, en partie, au poids des matériaux sus-jacents et aux mouvements à grande échelle de l'écorce terrestre. Outre ces contraintes naturelles, la roche encaissante sera soumise à d'autres contraintes qui résulteront de l'excavation du dépôt, de la chaleur et des rayonnements ionisants des déchets radioactifs. Cette combinaison des contraintes naturelles et extérieures peut influer de façon indue sur la stabilité structurale de la roche encaissante et des roches avoisinantes.

Selon la réaction des roches à la contrainte qu'elles subissent, les roches peuvent se diviser en deux grandes catégories. Chacune présente des avantages et des inconvénients:

a) Les roches ductiles subissent une déformation élastique sous pression, si bien que les fentes et les fissures tendent à se fermer. C'est un avantage indéniable qu'offre alors la roche encaissante, car elle ralentira le débit des eaux souterraines.

Cependant, si elle n'est pas convenablement confinée, une roche ductile peut être forcée à travers les roches sus-jacentes. Un dépôt qui aurait été creusé dans une roche assujettie à ce genre de mouvement pourrait être endommagé et les déchets radioactifs transportés vers la surface et réintroduits dans l'environnement en concentrations nuisibles.

b) Contrairement aux roches ductiles, les roches cassantes résistent à la déformation due à la contrainte jusqu'à ce que des fractures se produisent brusquement. Elles possèdent une résistance et une dureté considérables, et forment parfois des masses rocheuses gigantesques. Les roches sus-jacentes n'éjectent pas ce genre de roches.

Toutefois, les roches cassantes sont sujettes à la formation de failles accompagnées de fractures et de fissures. C'est là un inconvénient, car il est possible que des fractures nouvelles ou existantes servent de voies d'accès aux eaux souterraines.

On ne peut s'attendre qu'une masse rocheuse présente uniquement des caractéristiques désirables, néanmoins, après examen attentif des critères qui précèdent, il faudrait s'efforcer de parvenir à la combinaison la plus satisfaisante possible des propriétés de la roche encaissante.

Les dimensions de la roche encaissante doivent être telles que le dépôt peut être aménagé en profondeur et à bonne distance des limites de la roche

L'aménagement d'un dépôt en profondeur est un moyen efficace qui permet d'isoler et de protéger tant les déchets radioactifs que les composants artificiels du système d'évacuation. Il garantit aussi la conservation d'une barrière naturelle entre les déchets et l'environnement. En fait, une profondeur d'enfouissement suffisante est nécessaire pour

a) empêcher l'homme d'accéder aux déchets radioactifs et d'y toucher;

b) isoler le dépôt des effets des activités de l'homme, telles que les explosions, les excavations et les grands projets de construction; et

c) réduire les effets de certains processus intervenant à la surface du sol, comme l'érosion intense par le vent, l'eau et la glaciation, et des événements naturels comme l'impact des météorites.

Il est aussi important d'aménager le dépôt à l'intérieur des limites de la roche encaissante. En voici d'ailleurs quelques raisons:

a) les limites des roches sont des zones potentielles de faiblesse. Les diverses contraintes exercées sur la roche encaissante par la

présence du dépôt décroissent à mesure que l'on s'en éloigne. Toutefois, si l'extrémité de la roche se situe dans la zone influencée par le dépôt de telle sorte que l'augmentation de la contrainte est suffisante pour dépasser la résistance naturelle le long de cette limite, il peut se produire dans la roche une défaillance capable d'endommager l'efficacité du dépôt;

b) un movement substantiel d'eaux souterraines peut avoir lieu le long des limites de la roche et des discontinuités semblables. Une limite peut s'étendre jusqu'à la surface. Dans ces circonstances, la plus courte distance entre le dépôt et les limites de la roche peut devenir la voie d'accès cruciale, spécialement si le débit des eaux souterraines le long des limites de la roche pouvait transporter un radionucléide en concentrations inacceptables jusqu'a l'environnement;

c) les minéraux, les ressources pétrolières et les autres produits de base de valeur du point de vue commercial se trouvent parfois le long ou à proximité des limites de ces roches.